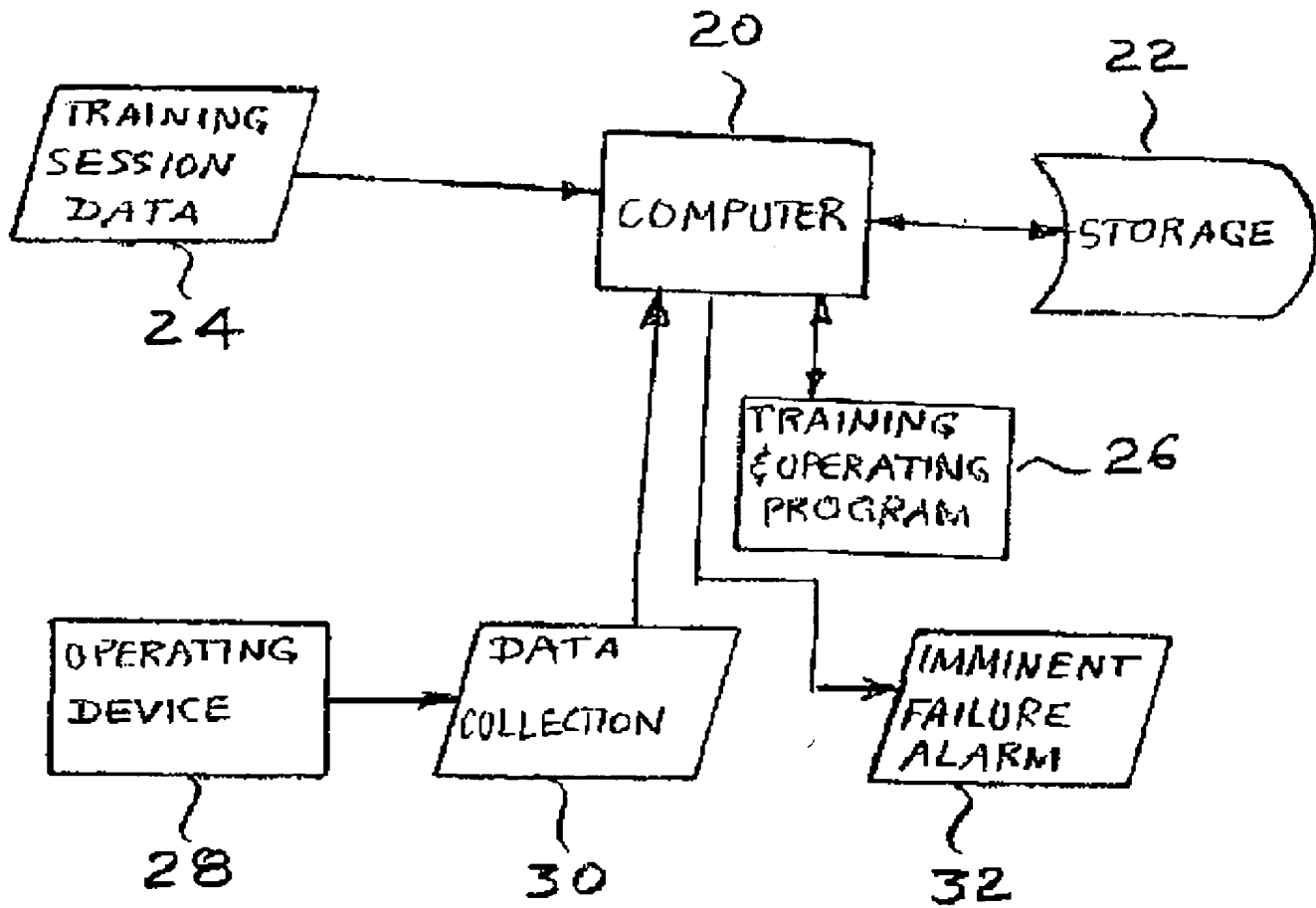


AN: PAT 2003-028970
TI: X-ray maintenance method for medical field, involves deriving pattern classifier using linear discriminant which separates two sets of vectors, for monitoring persistence of event occurrence in X-ray device
PN: US2002128799-A1
PD: 12.09.2002
AB: NOVELTY - The sampled signal representing occurrence of an event in a X-ray device, is modeled as time series. A training session is conducted utilizing a set of devices, and 2D vectors are computed. A scatter diagram of the 2D vectors is plotted, and a pattern classifier is derived using the linear discriminant separating the vector sets. The persistence of event occurrence is monitored using the classifier. DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is included for X-ray device maintenance providing apparatus.; USE - For providing predictive maintenance for X-ray device used in field of medicine, industry, transportation, communication. ADVANTAGE - Provides advance warning of impending failure for a variety of devices. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the block diagram of predictive maintenance providing apparatus.
PA: (LOEC/) LOECHER M; (SIEI) SIEMENS CORP RES INC;
IN: LOECHER M;
FA: US2002128799-A1 12.09.2002; **DE10161655-A1** 16.01.2003;
CO: DE; US;
IC: G06F-101/14; G07C-007/00;
MC: S05-D02A3; T01-J10C2; T01-J15; V05-E02;
DC: S05; T01; V05;
FN: 2003028970.gif
PR: US255613P 14.12.2000; US255614P 14.12.2000;
US255615P 14.12.2000; US0017013 14.12.2001;
FP: 12.09.2002
UP: 29.05.2003





⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 61 655 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 07 C 7/00

②① Aktenzeichen: 101 61 655.4
②② Anmeldetag: 14. 12. 2001
④③ Offenlegungstag: 16. 1. 2003

DE 101 61 655 A 1

③① Unionspriorität:

60/255613 14. 12. 2000 US
10/017013 14. 12. 2001 US

⑦① Anmelder:

Siemens Corporate Research, Inc., Princeton, N.J.,
US

⑦④ Vertreter:

Patentanwälte Westphal, Mussnug & Partner,
78048 Villingen-Schwenningen

⑦② Erfinder:

Loecher, Markus, Princeton Junction, N.J., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Komponente durch Verwendung von Markov-Übergangswahrscheinlichkeiten

⑤⑦ Verfahren zur Bereitstellung der prädiktiven Wartung einer Komponente mit den folgenden Schritten:
Modellieren eines diskret abgetasteten Signals, das Erscheinungen eines definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente darstellt, als eine Zeitreihe, wobei die Zeitreihe als Zweizustands-Markov-Prozesse erster Ordnung mit zugeordneten Übergangswahrscheinlichkeiten modelliert wird, wobei ein Zustand zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen eine bestimmte Schwelle übersteigt und der andere Zustand zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen unter die bestimmte Schwelle fällt; Berechnen der vier Übergangswahrscheinlichkeiten für die letzten N Zustände S_n , wobei N eine vorbestimmte Zahl ist, Durchführen einer beaufsichtigten Trainingssitzung unter Verwendung einer Menge von J Komponenten, die aufgrund bekannter Ursachen ausgefallen sind, und Betrachten der beiden unabhängigen Wahrscheinlichkeiten und wobei die Trainingssitzung das Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren für die ersten M Fenster und N Scans, das Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren für die letzten N Scans, das Auftragen eines Streudiagramms aller 2-D-Merkmalvektoren und das Ableiten einer Musterklassifizierungsvorrichtung durch Abschätzen der optimalen linearen Diskriminante, die die beiden obigen Mengen von Vektoren trennt, umfaßt; und Anwenden der Klassifizierungsvorrichtung zur Überwachung des Andauerns von Erscheinungen des definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente.

DE 101 61 655 A 1

[0001] Es wird hiermit auf die folgenden gleichzeitig anhängigen Anmeldungen Bezug genommen:

provisorische U.S.-Patentanmeldung Nr. 60/255,615, registriert am 14. 12. 2000 für "NEURAL NETWORK-BASED VIRTUAL AGE ESTIMATION FOR REMAINING LIFE-TIME", im Namen von Christian Darken und Markus Loecher, Aktenzeichen Nr. OOP9072US;

provisorische U.S.-Patentanmeldung Nr. 60/255,614, registriert am 14. 12. 2000 für "POLYNOMIAL BASED VIRTUAL AGE ESTIMATION FOR REMAINING LIFE-TIME PREDICTION", im Namen von Markus Loecher und Christian Darken, Aktenzeichen Nr. OOP9073US; und

provisorische U.S.-Patentanmeldung Nr. 60/255,613, registriert am 14. 12. 2000 für "MARKOV TRANSITION PROBABILITIES FOR PREDICTIVE MAINTENANCE", im Namen von Markus Loecher, Aktenzeichen Nr. OOP9074US,

wovon Priorität beansprucht wird und auf deren Offenlegungen hiermit ausdrücklich Bezug genommen wird.

[0002] Es wird außerdem auf die folgenden gleichzeitig anhängigen, mit der vorliegenden registrierten Patentanmeldungen Bezug genommen:

"METHOD AND APPARATUS FOR PROVIDING A VIRTUAL AGE ESTIMATION FOR REMAINING LIFE-TIME PREDICTION OF A SYSTEM USING NEURAL NETWORKS", im Namen von Christian Darken und Markus Loecher, Aktenzeichen Nr. OOP9072US01; und METHOD AND APPARATUS FOR PROVIDING A POLYNOMIAL BASED VIRTUAL AGE ESTIMATION FOR REMAINING LIFETIME PREDICTION OF A SYSTEM", im Namen von Markus Loecher und Christian Darken, Aktenzeichen Nr. OOP9073US01, und auf deren Offenlegungen hiermit ausdrücklich Bezug genommen wird.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein das Gebiet der Ausfallvorhersage und insbesondere das Geben von Vorauswarnungen über anstehenden Ausfall für vielfältige Systeme und Komponenten, wobei die Begriffe hier austauschbar verwendet werden.

[0004] Komponenten und Vorrichtungen, die auf verschiedenen Gebieten der Medizin, Industrie, des Transports, der Kommunikation usw. verwendet werden, weisen in der Regel eine bestimmte Nutzbarkeits- oder Lebensdauer auf, nach der ein Austauschen, eine Reparatur oder eine Wartung erforderlich ist. Die erwartete Länge der Lebensdauer ist im allgemeinen nur ungefähr bekannt, und nicht untypischerweise ist ein vorzeitiger Ausfall nicht ausgeschlossen. Einfache Laufzeitkriterien reichen in der Regel nicht aus, um eine rechtzeitige Anzeige eines einsetzenden Ausfalls bereitzustellen. Bei bestimmten Anwendungen stellt ein unerwarteter Ausfall von Komponenten mindestens ein Ärgernis dar; häufiger kann ein unerwarteter Komponentenausfall jedoch ein sehr großes Ärgernis sein, das zu kostspieligen Unterbrechungen von Diensten und der Produktion führt. In anderen Fällen kann ein solcher unerwarteter Ausfall die Sicherheit ernsthaft gefährden und kann zu potentiell gefährlichen und lebensbedrohenden Situationen führen.

[0005] Gemäß einem Aspekt der Erfindung werden Systeme und/oder Komponenten in "gesunde" Zustände klassifiziert, und Bedingungen, die eine anstehende Fehlfunktion signalisieren, werden durch Berechnung von Übergangswahrscheinlichkeiten gewählter Variablen erzielt.

[0006] Gemäß einem Aspekt der Erfindung umfaßt ein Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Komponente die folgenden Schritte: Modellieren eines diskret abgetasteten Signals, das Erscheinungen eines definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente darstellt, als

eine Zeitreihe, wobei die Zeitreihe als Zweizustands-Markov-Prozesse erster Ordnung mit zugeordneten Übergangswahrscheinlichkeiten modelliert wird, wobei ein Zustand zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen eine bestimmte

Schwelle übersteigt, und der andere Zustand zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen unter die bestimmte Schwelle fällt; Berechnen der vier Übergangswahrscheinlichkeiten der letzten N Zustände S_n , wobei N eine vorbestimmte Zahl ist, Durchführen einer beaufsichtigten Trainingssitzung unter Verwendung einer Menge von J Komponenten, die aufgrund bekannter Ursachen ausgefallen sind, und Betrachten der beiden unabhängigen Wahrscheinlichkeiten, und wobei die Trainingssitzung das Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren für die ersten M Fenster von N Scans, das Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren für die letzten N Scans, das Auftragen eines Streudiagramms aller 2D-Merkmalvektoren und das Ableiten einer Musterklassifizierungsvorrichtung durch Abschätzen der optimalen linearen Diskriminante, die die beiden obigen Mengen von Vektoren trennt, umfaßt; und dann Anwenden der Klassifizierungsvorrichtung zur Überwachung des Andauerns von Erscheinungen des definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente.

[0007] Das Verfahren und die Vorrichtung werden aus der folgenden ausführlichen Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen in Verbindung mit der Zeichnung besser verständlich. Es zeigt:

[0008] Fig. 1 (einzige Figur) ein Blockschaltbild für Vorrichtungen gemäß den Prinzipien der Erfindung.

[0009] Fig. 1 zeigt einen Computer 20, der mit Daten- und Programmspeichergeräten 22 und einer Quelle 26 von Programmen zum Training und interaktiven Betrieb gemäß der nachfolgenden Beschreibung ausgestattet ist. Daten von Trainingssitzungen, die später ausführlicher erläutert werden, werden bei 24 bereitgestellt. Eine Komponente bzw. ein System 28, die bzw. das überwacht wird, liefert Daten mittels einer Datensammel-Schnittstelleneinheit 30 an den Computer 20. Der Computer 20 liefert eine Anstehend- oder Zukunfts-Warnung bezüglich des Ablaufens der Lebensdauer und/oder des Ausfallerwartungswerts in einer Warnkomponente 32.

[0010] Eine wichtige beispielhafte Anwendung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung betrifft die Vorhersage eines Ausfalls von Röntgenröhren. Bekanntermaßen kommt es in Röntgenröhren zu Bogenbildung. Im Fall von Röntgenröhren wird die Häufigkeit von Hochspannungsbögen (HV-Bögen) bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel als die Haupteingabe für den Algorithmus gewählt. Die HV-Bogenbildung ist gekennzeichnet durch eine blitzartige Entladung und einen vorübergehenden Spannungszusammenbruch im Inneren von durch Vakuum isolierten Hochspannungskomponenten. Dabei handelt es sich in der Regel um eine häufig auftretende, aber gewöhnlich nur kurzzeitige Fehlfunktion in solchen Komponenten.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren ist weithin in vielen Gebieten anwendbar. Um ein Verständnis der Erfindung zu erleichtern und die Verwendung der komponentenspezifischen Informationen und Parameter zu illustrieren, wird die Erfindung zunächst ausführlicher anhand eines nicht einschränkenden Ausführungsbeispiels beschrieben, das Röntgenröhren betrifft; gegebenenfalls werden allgemein anwendbare Begriffe auch im Kontext des spezifischen Ausführungsbeispiels angeführt. Das verwendete Beispiel ist außerdem insofern geeignet, als ein unerwarteter Ausfall einer solchen Röntgenröhre zum Beispiel während einer kritischen chirurgischen Prozedur soweit wie möglich vermieden werden sollte.

[0012] Man nehme an, daß x_n ($n = 1 \dots N$) die Zeitreihe ei-

nes diskret abgetasteten Signals darstellt, von dem der Einfachheit halber bei der vorliegenden Ausführungsform angenommen wird, daß es die Anzahl von Hochspannungsbögen ist, die während der aktiven Phase einer Röntgenröhre gemessen wird. Weiterhin wird angenommen, daß die Röntgenröhren nicht kontinuierlich betrieben werden, was für eine klinische Umgebung typisch ist, in der diskrete, aufeinanderfolgende "Scans" ihre Hauptverwendung darstellen.

[0013] Die physikalischen Ursachen für HV-Bogen fallen hauptsächlich in drei Klassen: (i) Gehäuselecks, die zu einem verminderten Vakuum führen, (ii) mikroskopische Partikel, die gewöhnlich durch die Bogenbildung zerstört werden, und (iii) scharfe Vorsprünge auf der Oberfläche der Anode oder Kathode. Eine Bogenbildung aufgrund von Lecks ist eine Anzeige für den irreversiblen Verfall der ordnungsgemäßen Funktionsweise einer Röhre. Im Gegensatz dazu sind die beiden letzteren Störungen vergänglich und reversibel. Tatsächlich dient in den Fällen (ii) und (iii) die Bogenbildung (ein Symptom) dazu, ihre eigene Ursache zu beseitigen, indem die Partikel oder Vorsprünge zerstört werden.

[0014] Im Einklang mit diesem physikalischen Bild zeigt die Zeitreihe x_n eine merkliche Dauerhaftigkeit und kann nicht z. B. durch einen Poisson-Prozeß modelliert werden. Eine Entfernung von Teilchen erfordert eine ausreichende Anzahl aufeinanderfolgender HV-Bogen, was sich als starke zeitliche Korrelationen innerhalb von x_n manifestiert. Das Hauptproblem besteht darin, lediglich auf der Grundlage einer endlichen Vorgeschichte der Bogenbildung zu entscheiden, ob die Röhre bald irreversibel ausfällt oder ob die Fehlfunktion als vergänglich betrachtet werden kann.

[0015] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird die Zeitreihe x_n als Zweizustands-Markov-Prozesse erster Ordnung mit zugeordneten Übergangswahrscheinlichkeiten $p(i|j)$ modelliert. Der Zustand 1 wird angenommen, wenn die Anzahl von Bogen eine bestimmte Schwelle T übersteigt, und der Zustand 0, wenn sie unter dieselbe Zahl fällt:

$$S_n = \begin{cases} 0 & \text{für } x_n \leq T \\ 1 & \text{für } x_n > T \end{cases}$$

[0016] Man nimmt in der Regel T gleich Null. Die Annahme, daß x_n aus einem zugrundeliegenden Markov-Prozeß erster Ordnung resultiert, impliziert ein stochastisches Wechseln zwischen den beiden Zuständen. Die Übergangswahrscheinlichkeit $p(i|j)$ ist die Wahrscheinlichkeit des Wechselns vom Zustand j zum Zustand i . Genauer gesagt ist sie die Wahrscheinlichkeit für $S_n = i$, wenn $S_{n-1} = j$ gegeben ist. Diese vier Übergangswahrscheinlichkeiten werden über die letzten N Zustände S_n hinweg berechnet, wobei N in der Regel in der Größenordnung von einigen wenigen hundert Scans liegt. Man beachte, daß die Übergangswahrscheinlichkeiten eines Markov-Prozesses k -ter Ordnung von den letzten k Zuständen abhängen würden: $p(S_n) = p(S_n | S_{n-1}, \dots, S_{n-k})$.

[0017] Das Klassifizierungsproblem wird vereinfacht, indem nur die beiden Wahrscheinlichkeiten $p(1|1)$ und $p(1|0)$ betrachtet werden. Man beachte, daß die beiden übrigen Wahrscheinlichkeiten nicht unabhängig sind:

$p(0|1) = 1 - p(1|1)$ und $p(0|0) = 1 - p(1|0)$. Durch Verwendung einer Menge von J Röhren, die aufgrund bekannter Ursachen ausgefallen sind, lautet die beaufsichtigte Trainingsstrategie gemäß den Prinzipien der Erfindung folgendermaßen:

- Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren $f_i = \{p(1|1), p(1|0)\}_i$ für die ersten M Fenster von N Scans.

- Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren $f_t = \{p(1|1), p(1|0)\}_t$ für die letzten N Scans.

- Auftragen eines Streudiagramms aller 2D-Merkmalvektoren $(f_i)_n$ und $(f_t)_n$, ($n = 1 \dots J$).

- Nun ist das Problem auf eine klassische Musterklassifizierungsvorrichtung reduziert:

Abschätzen der optimalen linearen Diskriminante, die die beiden Mengen von Vektoren trennt.

[0018] Die dadurch gewonnene Klassifizierungsvorrichtung wird auf die Überwachung des Andauerns einer Bogenbildung beim Betrieb von Röhren angewandt. Bei jedem Scan werden die Übergangswahrscheinlichkeiten aktualisiert und der Merkmalvektor $f = \{p(1|1), p(1|0)\}$ konstruiert.

[0019] Wenn f in den "Schlecht"-Bereich der Klassifizierungsvorrichtung fällt, wird angenommen, daß die Röhre dem Ende ihrer nutzbaren Lebensdauer nahe ist und es wird eine Vorwarnung bezüglich des anstehenden Ausfalls gegeben.

[0020] Es versteht sich, daß die Erfindung auf verschiedene Weise implementiert werden kann, wobei verfügbare Hardware- und Software-Technologien verwendet werden. Die Implementierung mittels eines programmierbaren digitalen Computers ist mit oder ohne zusätzliche Hilfsvorrichtungen geeignet. Es kann auch ein eigenes System verwendet werden, das einen eigenen programmierten Computer und entsprechende Peripheriegeräte aufweist. Wenn verschiedene Funktionen und Unterfunktionen in Software implementiert werden, lassen sich spätere Änderungen und Verbesserungen des Betriebs ohne weiteres implementieren.

[0021] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist für Fachleute auf dem entsprechenden Gebiet erkennbar, daß verschiedene Änderungen und Modifikationen vorgenommen werden können, ohne vom Gedanken der Erfindung abzuweichen. Solche Änderungen und Modifikationen sollen in den Schutzzumfang der folgenden Ansprüche fallen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Komponente mit den folgenden Schritten:

Modellieren eines diskret abgetasteten Signals, das Erscheinungen eines definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente darstellt, als eine Zeitreihe x_n , wobei die Zeitreihe x_n als Zweizustands-Markov-Prozesse erster Ordnung mit zugeordneten Übergangswahrscheinlichkeiten $p(i|j)$ modelliert wird, wobei der Zustand 1 zutrifft,

wenn die Anzahl der Erscheinungen eine bestimmte Schwelle T übersteigt und der Zustand 0 zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen unter die bestimmte Schwelle T fällt, mit der folgenden Darstellung:

$$S_n = \begin{cases} 0 & \text{für } x_n \leq T \\ 1 & \text{für } x_n > T \end{cases}$$

wobei die Übergangswahrscheinlichkeit $p(i|j)$ die Wahrscheinlichkeit des Wechselns vom Zustand j zum Zustand i ist, das heißt, die Wahrscheinlichkeit für $S_n = i$, wenn $S_{n-1} = j$ gegeben ist, beträgt also insgesamt 4 Übergangswahrscheinlichkeiten;

Berechnen der besagten vier Übergangswahrscheinlichkeiten in den letzten N Zuständen S_n , wobei N eine vorbestimmte Zahl ist;

Durchführen einer beaufsichtigten Trainingssitzung

unter Verwendung einer Menge von J Komponenten, die aufgrund bekannter Ursachen ausgefallen sind, und Betrachten der beiden unabhängigen Wahrscheinlichkeiten $p(111)$ und $p(110)$, wobei die Trainingssitzung folgendes umfaßt:

Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren $f_i = \{p(111), p(110)\}_i$ für die ersten M Fenster von N Scans,

Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren $f_f = \{p(111), p(110)\}_f$ für die letzten N Scans,

Auftragen eines Streudiagramms aller 2D-Merkmalvektoren $(f_i)_n$ und $(f_f)_n$, ($n = 1 \dots J$) und

Ableiten einer Musterklassifizierungsvorrichtung durch Abschätzen der optimalen linearen Diskriminante, die die beiden obigen Mengen von Vektoren trennt; und

Anwenden der besagten Klassifizierungsvorrichtung zur Überwachung des Andauerns von Erscheinungen des definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente.

2. Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Komponente nach Anspruch 1, mit den folgenden Schritten:

Aktualisieren der Übergangswahrscheinlichkeiten, während jeder Scan aktualisiert wird; und

Konstruieren des konstruierten Merkmalvektors $f = \{p(111), p(110)\}$.

3. Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Komponente nach Anspruch 2, mit dem Schritt:

Bereitstellen einer Warnung über einen anstehenden Ausfall der Komponente, wenn f in einen Bereich der Klassifizierungsvorrichtung fällt, der der Anzeige einer solchen Ausfallvorhersage entspricht.

4. Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Röntgenröhre, mit den folgenden Schritten:

Modellieren eines diskret abgetasteten Signals, das Erscheinungen einer Bogenbildung im Betrieb der Röhre darstellt, als eine Zeitreihe x_n , wobei die Zeitreihe x_n

als Zweizustands-Markov-Prozesse erster Ordnung mit zugeordneten Übergangswahrscheinlichkeiten $p(i|j)$ modelliert wird, wobei der Zustand 1 zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen eine bestimmte Schwelle T übersteigt und der Zustand 0 zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen unter die bestimmte Schwelle T fällt, mit der folgenden Darstellung:

$$S_n = \begin{cases} 0 & \text{für } x_n \leq T \\ 1 & \text{für } x_n > T \end{cases}$$

wobei die Übergangswahrscheinlichkeit $p(i|j)$ die Wahrscheinlichkeit des Wechsels vom Zustand j zum Zustand i ist, das heißt, die Wahrscheinlichkeit für $S_n = i$, wenn $S_{n-1} = j$ gegeben ist, beträgt also insgesamt 4 Übergangswahrscheinlichkeiten;

Berechnen der besagten vier Übergangswahrscheinlichkeiten in den letzten N Zuständen S_n , wobei N eine vorbestimmte Zahl ist;

Durchführen einer beaufsichtigten Trainingssitzung unter Verwendung einer Menge von J Röntgenröhren, die aufgrund bekannter Ursachen ausgefallen sind, und Betrachten der zwei unabhängigen Wahrscheinlichkeiten $p(111)$ und $p(110)$, wobei die Trainingssitzung folgendes umfaßt:

Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren f_i

$= \{p(111), p(110)\}_i$ für die ersten M Fenster von N Scans,

Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren $f_f = \{p(111), p(110)\}_f$ für die letzten N Scans,

Auftragen eines Streudiagramms aller 2D-Merkmalvektoren $(f_i)_n$ und $(f_f)_n$, ($n = 1 \dots J$), und Ableiten einer Musterklassifizierungsvorrichtung durch Abschätzen der optimalen linearen Diskriminante, die die beiden obigen Mengen von Vektoren trennt; und

Anwenden der Klassifizierungsvorrichtung zur Überwachung des Andauerns von Erscheinungen der Bogenbildung im Betrieb der Röntgenröhre.

5. Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Röntgenröhre nach Anspruch 4, mit den folgenden Schritten:

Aktualisieren der Übergangswahrscheinlichkeiten, während jeder Scan aktualisiert wird; und

Konstruieren des konstruierten Merkmalvektors $f = \{p(111), p(110)\}$.

6. Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Röntgenröhre nach Anspruch 5, mit dem Schritt:

Bereitstellen einer Warnung über das anstehende Ausfallen der Röntgenröhre, wenn f in einen Bereich der Klassifizierungsvorrichtung fällt, der einer Anzeige einer solchen Ausfallvorhersage entspricht.

7. Verfahren zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Komponente mit den folgenden Schritten:

Modellieren eines diskret abgetasteten Signals, das Erscheinungen eines definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente darstellt, als eine Zeitreihe, wobei die Zeitreihe als Zweizustands-Markov-Prozesse erster Ordnung mit zugeordneten Übergangswahrscheinlichkeiten modelliert wird, wobei ein Zustand zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen eine bestimmte Schwelle übersteigt und der andere Zustand zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen unter die bestimmte Schwelle fällt; Berechnen der besagten vier Übergangswahrscheinlichkeiten für die letzten N Zustände S_n , wobei N eine vorbestimmte Zahl ist, Durchführen einer beaufsichtigten Trainingssitzung unter Verwendung einer Menge von J Komponenten, die aufgrund bekannter Ursachen ausgefallen sind, und Betrachten der beiden unabhängigen Wahrscheinlichkeiten, und wobei die Trainingssitzung das Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren für die ersten M Fenster von N Scans, das Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren für die letzten N Scans, das Auftragen eines Streudiagramms aller 2D-Merkmalvektoren und das Ableiten einer Musterklassifizierungsvorrichtung durch Abschätzen der optimalen linearen Diskriminante, die die beiden obigen Mengen von Vektoren trennt, umfaßt; und Anwenden der Klassifizierungsvorrichtung zur Überwachung des Andauerns von Erscheinungen des definierten Ereignisses in dem Betrieb der Komponente.

8. Vorrichtung zur Bereitstellung einer prädiktiven Wartung einer Komponente, umfassend: ein Mittel zum Modellieren eines diskret abgetasteten Signals, das Erscheinungen eines definierten Ereignisses im Betrieb der Komponente darstellt, als eine Zeitreihe, wobei die Zeitreihe x_n als Zweizustands-Markov-Prozesse erster Ordnung mit zugeordneten Übergangswahrscheinlichkeiten $p(i|j)$ modelliert wird, wobei der Zustand 1 zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen eine bestimmte Schwelle T übersteigt und der Zustand 0 zutrifft, wenn die Anzahl der Erscheinungen unter die bestimmte Schwelle T fällt, mit der folgenden

Darstellung:

$$S_n = \begin{cases} 0 & \text{für } x_n \leq T \\ 1 & \text{für } x_n > T \end{cases} \quad 5$$

wobei die Übergangswahrscheinlichkeit $p(i|j)$ die Wahrscheinlichkeit des Wechsels vom Zustand j zum Zustand i ist, d. h. die Wahrscheinlichkeit für $S_n = i$, 10 wenn $S_{n-1} = j$ gegeben ist, beträgt also insgesamt 4 Übergangswahrscheinlichkeiten;

ein Mittel zum Berechnen der besagten vier Übergangswahrscheinlichkeiten für die letzten N Zustände S_n , wobei N eine vorbestimmte Zahl ist; 15

ein Mittel zum Durchführen einer beaufsichtigten Trainingssitzung unter Verwendung einer Menge von J Komponenten, die aufgrund bekannter Ursachen ausgefallen sind, und Betrachten der beiden unabhängigen Wahrscheinlichkeiten $p(1|1)$ und $p(1|0)$, wobei das Mittel zum Durchführen einer beaufsichtigten Trainingssitzung Mittel für folgendes umfaßt: 20

Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren $f_i = \{(p(1|1), p(1|0))_i$ für die ersten M Fenster von N Scans, 25

Berechnen der zweidimensionalen Merkmalvektoren $f_f = \{(p(1|1), p(1|0))_f$ für die letzten N Scans,

Auftragen eines Streudiagramms aller 2D-Merkmalvektoren $(f_i)_n$ und $(f_f)_n$, ($n = 1 \dots J$) und Ableiten einer Musterklassifizierungsvorrichtung durch Abschätzen 30 der optimalen linearen Diskriminante, die die beiden obigen Mengen von Vektoren trennt; und

ein Mittel zum Anwenden der Klassifizierungsvorrichtung zur Überwachung des Andauerns von Erscheinungen des definierten Ereignisses in dem Betrieb der 35 Komponente.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

